

## مدل سازی بارش - رواناب به منظور مدیریت ریسک سیلاب

(مطالعه موردی: منطقه هراز)

حمزه احمدی<sup>۱</sup>، عباسعلی داداشی رودباری<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکترای، آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه جغرافیای طبیعی، سبزوار، ایران.

۲. نویسنده مسئول: دانشجوی دکترای آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه آب و هواشناسی، تهران، ایران.

Email: Dadashiabbasali@gmail.com

دریافت: ۹۴/۶/۲۴ پذیرش: ۹۴/۸/۲۵

### چکیده

**مقدمه:** امروزه با توجه به تغییرات آب و هوایی، مخاطرات اقلیمی از مهم ترین تهدیدها و چالش ها برای بشر محسوب می شوند که در این بین، سیلاب، یکی از مرسوم ترین مخاطرات است. در کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، این مخاطره هرساله خسارات جانی و مالی زیادی بر اراضی زراعی، زیرساخت ها و سکونتگاه های کشور وارد می آورد. منطقه هراز به عنوان یکی از مناطق عمده جمعیتی در شمال کشور در محدوده دو استان مازندران و تهران، با داشتن یکی از شریان های مواصلاتی عمده، هر ساله با رخداد سیلاب مواجه است. از این رو، مطالعه حاضر با هدف مدل سازی بارش - رواناب برای مدیریت ریسک سیلاب در مسیر اصلی جاده هراز تدوین شده است.

**روش:** روش تحقیق در پژوهش حاضر اسنادی - آماری است و به تناسب هدف و محتوا، تحقیق بر مبنای استفاده از آمار اقلیمی، اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره ای منطقه هراز قرار دارد. از مدل عددی HEC-HMS برای مدل سازی سیلاب استفاده شده است. با این مدل می توان آبنمود هر

پیشامد بارش را تولید کرد. در این خصوص ویژگی های توپوگرافی و هیدرو ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه، به صورت کمی در قالب رستری به عنوان نمایه های توپوگرافی تعریف و در ادامه، ۲۹ زیرمنطقه مشخص گردید. با تکمیل اطلاعات مورد نیاز، دوره برگشت میان مدت و طولانی مدت، هیدروگراف سیل و نقشه سیل خیزی برای منطقه مشخص شد. از روش سنس، برای بررسی وضعیت تغییرات بارش در منطقه، استفاده شد.

**یافته ها:** روند افزایشی در بارش منطقه و همچنین تغییر زمان بارش ها به انتهای فصول به خصوص فصول زمستان و تابستان، وجود بی نظمی در سامانه آب و هوای منطقه در اثر تغییر اقلیم جهانی و گرم شدن کره زمین را نشان می دهد. بر مبنای نتایج مدل، در دوره های بازگشت میان مدت و طولانی مدت، مناطق تیران و اندوار مستعدترین مناطق سیل خیز در منطقه هراز محسوب می شوند. پهنه های سیلابی بزرگ در رودخانه هراز حدود ۳۰۰ متر و بستر کوچک رودخانه ۲۰ تا ۳۵ متر می باشد. پهنه سیلابی فعال رودخانه حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است که بخش هایی از این پهنه می توانند به صورت متناوب غرقاب شوند. مناطق بخش جنوبی منطقه هراز، به دلیل نبود پوشش گیاهی و برفگیر بودن منطقه، بیشتر از دیگر مناطق، مستعد رواناب ها و سیلاب های مهیب می باشد. وجود چنین شرایطی، این مناطق را نیازمند مطالعات آبخیزداری جامع و سامانه های مهار سیلاب و همچنین تأسیس و تجهیز ایستگاه های امدادی برای زمان بحران می کند.

**نتیجه گیری:** با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل های هیدروژئوژیک، می توان اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را بر پتانسیل سیل خیزی حوزه های آبخیز بررسی کرد. با در نظر گرفتن هم زمانی دبی اوج، مناطق مهم مسکونی و ارتباطی و

نقش روندیابی سیل در آبراهه، اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مناطق پرخطر را به نحو مناسب‌تری انجام داد. با توجه به اینکه زیربنای مدیریت بحران بر پیشگیری است، بنابراین واکاوی مناطق سیل‌خیز می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه قبل از وقوع سیل مؤثر باشد. نتایج پژوهش حاضر برای اعمال برنامه‌های مدیریت ریسک سیلاب در قبل از وقوع بحران نیز حائز اهمیت است.

**کلمات کلیدی:** مدل‌سازی سیلاب، مدل بارش - رواناب، مدیریت ریسک، هراز.

### مقدمه

در قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم، کره زمین افزایش چشمگیری در تعداد بلایای زیان‌بار ناشی از مخاطرات طبیعی به خود دیده است. در بین بلایای طبیعی تا سال ۲۰۱۱، طوفان، سیل و زلزله از فراوانی بالایی برخوردارند. [۱]

سیلاب‌ها یکی از مهم‌ترین مخاطرات خسارت‌زا در بین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند. حدود ۱۶۹ میلیون نفر از ساکنان کره زمین در بیش از ۹۰ کشور به طور متوسط هر ساله با یک سیل مخرب مواجه می‌شوند. [۲]

بلایای هیدرو- اقلیمی در سراسر جهان در حال افزایش هستند. [۳]

بدون شک سیلاب به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی شناخته شده است، ولی در عمل سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی، مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود. [۴]

در کشورهای حادثه‌خیز پیامدهای ناشی از بحران‌ها، از عوامل اصلی بازدارنده توسعه به شمار می‌آیند. حدود سه چهارم مردم دنیا در مناطقی زندگی می‌کنند که در دهه‌های اخیر حداقل وقوع یکی از چهار عامل عمده مرگ و میر ناشی از بحران‌ها، یعنی زلزله، سیل، طوفان یا خشکسالی را تجربه کرده‌اند. [۵]

جاری شدن رواناب معمولاً نتیجه بارندگی‌های شدید و ذوب شدن برف است که طی فرایندهای نامبرده، رود از مرز اصلی خود فراتر رفته و یا به عبارتی دیگر، رود طغیان می‌کند. این نوع از جاری شدن رواناب را با عنوان سیلاب رودخانه، طبقه‌بندی کرده‌اند. دو نوع دیگر از سیل نیز وجود دارد که به صورت سیلاب ناگهانی و سیلاب ساحلی مشخص شده‌اند [۶]

انتخاب اولویت مناطق برای اجرای پروژه‌های کنترل سیل، یک تصمیم‌گیری مدیریتی است که باید به‌وسیله مطالعه شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی منطقه و برآورد تأثیرات حاصل از انجام برنامه‌ها تأیید گردد. [۸]

تحقیقات و پژوهش‌هایی که در ارتباط با تعریف شاخص سیل‌خیزی و تعیین مناطق سیل‌خیز در نقاط مختلف دنیا انجام شده، حاکی از آن است که روش واحدی برای این موضوع بکار گرفته نشده است. روش‌هایی که برای تعیین مناطق سیل‌خیز استفاده شده بیشتر بر پایه روش‌های نموداری و فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، منطقه‌بندی هیدرولوژیکی، داده‌های دورسنجی و

GIS و مدل‌های ریاضی رایانه‌ای بارش - رواناب بوده و بیشتر از دیدگاه تولید سیل در سطح حوضه‌های یکپارچه مطرح شده است. کنبل و همکاران (۲۰۰۵) مدل منطقه‌ای سیل را با استفاده از مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS بررسی کردند. آنها در تبدیل بارش به رواناب از روش مود کلارک اصلاح شده بهره گرفته و پارامترهای حوضه مورد مطالعه را نیز به صورتی دستی کالیبره کردند تا شبیه‌سازی خوبی از دبی ۱۲ زیر حوضه داشته باشند. [۹]

مک کول و ایجت (۲۰۰۶) با استفاده از مدل HEC-HMS به پیش‌بینی الگوی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰ در حوضه آبخیز کیتاتیس در واشنگتن پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قابلیت پیش‌بینی الگوهای مختلف کاربری اراضی که به‌ویژه در طراحی شهری و کاهش خسارت سیل که در حوضه‌های شهری از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، را دارا است. مدل ریاضی بارش - رواناب HEC-HMS به‌عنوان روشی کارآمد از سوی محققین جهان بارها مورد ارزیابی قرار گرفته و صحت حاصل از نتایج آن امروزه به‌عالی‌ترین سطح خود رسیده است. [۱۰]

ینار و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی مؤلفه‌های این مدل رواناب حاصل از حوضه‌های اصلی آبریز کشور ترکیه را در فصول بهار، پاییز و تابستان پیش‌بینی کردند. [۱۱]

در همین خصوص پژوهشی در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۹ میلادی در حوضه دریاچه میشیگان توسط چو و استیدمن (۲۰۰۹) انجام شد. نتایج نشان داد که برای بررسی سیلاب‌های منطقه، بررسی با گام زمانی ۵ دقیقه، روشی بهنجار تلقی خواهد شد. [۱۲]

اولک اولبلو و لی (۲۰۱۰) در پژوهشی کاربرد مدل HEC-HMS برای پیش‌بینی سیلاب در حوضه آبخیز میسای در چین را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. آنها با اجرای این مدل در محیط GIS وضعیت سیلاب را پیش‌بینی نموده‌اند. [۱۳]

هالواتورا و نجیم (۲۰۱۳) کاربرد مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی خروجی در آبخیزهای حاره‌ای ارزیابی نمودند. شبیه‌سازی رواناب براساس روش‌های مختلف با تلفیق مؤلفه‌های مختلف محیطی نقش مؤثری در برنامه‌ریزی و مدیریت سیل به همراه دارد. [۱۴]

آکتر و احمد (۲۰۱۵) پتانسیل‌پذیری برداشت آب باران برای جوامع شهری در بنگلادش را بررسی نمودند. آنها با استفاده از مدل HEC-HMS فرایند خروجی بارش را شبیه‌سازی نموده و با استفاده از AHP و محیط GIS نقش این مدل‌ها در تصمیم‌سازی مدیریت منابع آب شهری مؤثر دانستند. [۱۵]

در ایران نیز سردوئی و همکاران برای شبیه‌سازی رواناب سطحی سد امیرکبیر به کالیبراسیون مدل HEC-HMS پرداختند و نتیجه گرفتند که روش

حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای مناطق کوهستانی روشی بهینه خواهد بود. [۱۶]

در پژوهشی آذری و همکاران، به منظور بررسی رفتار سیلاب و نحوه گسترش آن در بازه‌ای از رودخانه جعفری در شمال خراسان رضوی [۱۷] و عباسی با استفاده از مدل هیدرولوژیک HEC-HMS اقدامات آبخیزداری اجرا شده در حوضه آبخیز کن تهران را مورد ارزیابی قرارداد؛ که معیارهای دبی اوج و حجم سیلاب را برای بارش‌های دوره‌ای مورد ارزیابی قرارداد و نتایج این مدل را تأیید کردند. [۱۸]

همانطور که ملاحظه می‌گردد، در راستای مدیریت بهنجار حوضه‌های آبخیز از سوی پژوهشگران مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی سیلاب (سیلاب رودخانه) ارائه شده است. لذا در این خصوص رویکرد مدرن در مدیریت سوانح طبیعی به ویژه سیلاب مدیریت زمان است، که به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل حاضر برای مدل‌های بارش - رواناب در نظر گرفته می‌شود. [۸]

به طور کلی خسارت حاصله از سیل را می‌تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم، محسوس و نامحسوس در نظر گرفت، که تمامی این موارد باید در خسارت حاصله از یک سیلاب در نظر گرفته شود. [۱۹ و ۲۰]

افزایش مکرر سیلاب به طور عمده به دلیل گسترش شهرنشینی که به دنبال آن موجب دست‌اندازی به حریم رودخانه از یکسو و قطع

بی‌رویه درختان از سوی دیگر بوده، قابل تبیین است. [۲۱ و ۲۲]

مدیریت سیلاب در چهار مرحله انجام می‌شود: پیش‌بینی، آماده‌سازی، پیشگیری و ارزیابی خسارت. [۲۳]

در مطالعات هیدرولوژی و هیدرو-اقلیمی پیش‌بینی یک رخداد به کمترین درصد خطا از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، لذا بهره‌وری از RS و GIS یک انقلاب بزرگ در علوم محیطی تلقی می‌گردد. به خصوص در مدیریت سیلاب که می‌تواند با انطباق تمام الزامات مورد نیاز در هر مرحله انواع تجزیه و تحلیل‌ها را قبل از بروز سیل انجام داد. [۲۴]

بنابراین با پیش‌بینی مناطق در معرض خطر سیل می‌توان به تجزیه و تحلیل مناطق دارای پتانسیل بالا در جاری شدن سیل پرداخت، که می‌توان با نصب علامت‌های هشداردهنده لازم در مناطقی با خطر بالا و همچنین واکنش در برابر شرایط اضطراری از اثرات فاجعه بعد از رخداد سیل تا حد بسیار زیادی کاست. [۲۵]

از آنجا که ایران کشوری بلا خیز است و جزو ۱۰ کشور بلا خیز دنیا محسوب می‌شود. از ۴۰ مخاطره طبیعی، ۳۰ مورد در ایران رخ می‌دهد. [۲۶]

مخاطرات هیدرو - اقلیمی جزء بالاترین مخاطرات دهه‌های اخیر کشور بوده است. هر ساله مناطق مختلف کشور با پدیده سیلاب مواجه می‌شود. این مخاطره در زمان رخدادهای بارشی

بازگشت در مناطق منتهی به منطقه مواصلاتی هراز، در مسیر تهران- شمال پردازد.

### روش تحقیق

منطقه هراز در جنوب استان مازندران واقع شده و از نظر تقسیمات سیاسی جزو شهرستان آمل محسوب می‌شود. منطقه هراز ۲۰۰۵۱ هکتار وسعت دارد. این منطقه با محیطی برابر با ۲۹۶۰۶۲/۵ کیلومتر، از سطوح ارتفاعی ۲۰۰ تا ۵۶۰۰ متر از سطح دریا برخوردار می‌باشد. رودخانه هراز مسیر اصلی یا محور عمده شبکه آبراهه منطقه هراز را تشکیل می‌دهد. از مهم‌ترین رودخانه‌های این منطقه می‌توان به رودخانه‌های آخن‌سر، شیرکلارود و نمارستاق اشاره کرد. از ارتفاعات مهم منطقه هراز می‌توان به کوه‌های دماوند، شیم‌کوه، کوه امامزاده قاسم اشاره نمود. از مراکز عمده سکونتی در منطقه هراز، می‌توان به پلور، نشل، تیران، رینه، کندوا، آب اسک، گزنک، بایجان، بلقلم اشاره کرد. شکل شماره ۱ موقعیت منطقه هراز را نشان می‌دهد.

تحقیق حاضر با روش اسنادی- آماری به ارزیابی اهداف تعیین شده می‌پردازد. زیر بنای تحقیق بر مبنای استفاده از آمار و اطلاعات اقلیمی، مکانی و محیطی منطقه هراز قرار دارد. در این تحقیق از داده‌های رقومی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، زمین‌شناسی، گسل و رخساره‌های زمین‌شناسی استفاده شده است. برای تولید مدل رقومی ارتفاع، ابتدا داده‌های تصاویر ماهواره‌ای (ASTER) از پایگاه علوم و زمین ایالات متحده

شدید، به شدت خطرناک بوده و خسارت جانی و مالی زیادی را به همراه دارد. منطقه هراز به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق عمده جمعیتی کشور با توجه به دارا بودن یکی از شریان‌های مواصلاتی مهم در کشور، از اهمیت راهبردی خاصی برخوردار می‌باشد. رواناب‌های سیلابی در این منطقه در سال‌های اخیر چنان وسعت و آهنگ شتابانی پیدا کرده است که به صورت یک معضل فراگیر اجتماعی- اقتصادی درآمده و برای ساماندهی آن ستاد حوادث غیرمترقبه که درواقع بیشتر مسئولیت کمک‌رسانی و امداد پس از وقوع حوادث (و نه پیشگیری از آن) را دارد به وجود آمده است. بای همکاران (۱۳۹۲) تأثیر عوامل هیدرواقلم بر مخاطرات طبیعی استان گلستان با تأکید بر سیلاب را بررسی نمودند. آنها مشخص نمودند که استان گلستان دارای خطر وقوع سیل بالا بوده و ۳۱ درصد جمعیت روستایی، با ساکن بودن در خطر وقوع سیل خیلی زیاد و زیاد، بیشتر در معرض خطرات جانی و مالی هستند. [۲۷]

براین اساس، پرداختن به مسئله سیل و بررسی علل بروز و افزایش آن و همچنین ارائه راهکارهایی برای تخفیف و کاهش خطرات رواناب‌های سیلابی ازجمله مواردی است که همواره باید موردتوجه متخصصان امر قرار گیرد. بنابراین، پژوهش حاضر در نظر دارد با مدل‌سازی بارش- رواناب براساس مدل‌های عددی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به شناسایی مناطق حساس سیل‌گیر، رواناب‌های شدید و دوره‌های

آمریکا (<http://glovis.usgs.gov>) اخذ گردید و با استفاده امکانات نرم‌افزار ERDAS مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۱۵ متر تولید شد. به این منظور ابتدا، داده‌های استر 3N و 3B استریو مربوط به منطقه هراز از پایگاه مذکور اخذ گردید، از آنجایی که اختلاف پستی و بلندی زیاد و قابل توجهی در منطقه وجود دارد سطوح ارتفاعی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$h = \frac{H'}{ab + \Delta p} \Delta p \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $h$  ارتفاع جسم یا عارضه،  $H'$  ارتفاع پرواز سنجده نسبت به نقطه کم ارتفاع‌تر از دو نقطه‌ای که اختلاف پارالاکس بین آن اندازه‌گیری شده است،  $ab$  از همان رویه  $H'$  پیروی می‌کند، متنها مقدار تعدیل شده است و  $\Delta p$  اختلاف پارالاکس است که حسگر استریومتر سنجده اندازه‌گیری کرده است.

در ادامه، با مبنا قرار دادن مدل رقومی ارتفاع که با استفاده از روش فوق تهیه گردید. نقشه شیب و جهت شیب استخراج گردید. نقشه‌های زمین‌شناسی، گسل و رخساره‌های زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰، که توسط ارتش جمهوری اسلامی ایران و سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده‌اند، اخذ شد. پس از رقومی‌سازی نقشه‌های کاغذی تهیه شده، با استفاده از امکانات محیط نرم‌افزاری ARCGIS10/3، منطقه هراز از کل شیت مربوطه جدا گردید. برای ارزیابی دقیق بارش منطقه از اطلاعات بارشی ۴۲ ایستگاه

همدید، اقلیم‌شناسی، باران‌سنجی و هیدرومتری موجود در منطقه و مجاور آن استفاده گردید. مراحل اجرا و پارامترهای ورودی مدل HEC-HMS به این صورت است که برای منطقه مورد مطالعه سه سری داده تعریف گردید، از این قرار:

(۱) مدل حوضه (Basin Model)

(۲) مدل بارش (Meteorological model)

(۳) خصوصیات زمانی شبیه‌سازی (Control specification)

براساس ضوابط ارائه شده در روش‌شناسی گزارش فیزیوگرافی، کل منطقه هراز به ۲۹ زیر حوضه (مستقل و غیرمستقل) تقسیم شده است. اطلاعات فیزیوگرافی مدل برای شیب، جهت شیب، ارتفاع و داده‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های کاربری اراضی، گروه هیدرولوژی خاک و شماره منحنی (CN) در بخش مدل حوضه وارد نرم‌افزار شدند چرا که شکل منطقه و اطلاعات زمین‌شناسی نقش به‌سزایی را در سیل‌خیزی دارند و لذا مدل در گام اول نیازمند اطلاعات نامبرده برای کالیبراسیون می‌باشد. در گام دوم اطلاعات ۴۲ ایستگاه مورد استفاده به مدل معرفی شدند و خصوصیات زمانی شبیه‌سازی به شرح زیر در مدل تعریف گردید.

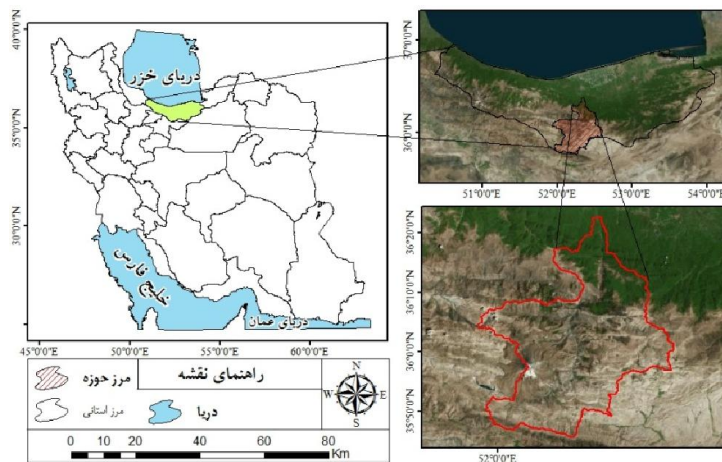
در اجرای مدل فرض گردید که توزیع مکانی رگبارها و نفوذپذیری در هر یک از ۲۹ زیر منطقه مورد مطالعه، یکنواخت می‌باشد. لذا برای نیل به صحت فرض مذکور از آنجایی که زیر حوضه‌ها از مساحت‌های کوچکی برخوردار

باشند در نتایج مدل نهایی تفاوت چندانی مشاهده نخواهد شد. این فرض توسط راهنمای جامع نرم‌افزار [۲۸] و مطالعات [۲۹] مورد تأیید قرار گرفته است. مدل برای شبیه‌سازی به داده‌ها و اطلاعات مربوط به رگبار و سیلاب‌های مربوطه نیاز دارد که بعد از انجام کالیبراسیون پارامترهای مدل، مقادیر سیلاب برای دوره برگشت‌های مختلف برآورد گردد. با توجه به شرح روش ارائه شده، داده‌های موجود و همچنین به علت در دسترس نبودن آمار کوتاه مدت رگبار محدوده مطالعاتی اقدام به برآورد دبی اوج با استفاده از پارامترهای موجود گردید. نکته‌ای دیگر در مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب دوره برگشت است. نظر به هدف اصلی مطالعه حاضر (سیل‌خیزی)، دوره برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله انتخاب گردید.

مدل برای پیش‌بینی هیدروگراف سیلاب نیاز به توزیع زمانی رگبار در طول مدت بارندگی را دارد و از آنجایی که متأسفانه این نوع برداشت نیز در ایستگاه‌های کشور ثبت نمی‌گردد، در تحقیق حاضر از توزیع زمانی بحرانی (الگوی که حداکثر اوج سیلاب را تولید می‌نماید) استفاده شد. [۳۰] بنابراین، ابتدا الگوهای مختلف زمانی رگبار پیشنهادی (Scs) در مدل SMADA اجرا گردید و الگوی بحرانی انتخاب شده و الگوی بحرانی در مدل HEC-HMS برای پیش‌بینی سیلاب بکار گرفته شد.

به منظور شناسایی شیب تغییرات سری زمانی بارش در منطقه مورد مطالعه، از روش ناپارامتریک سنس (Sen's Slope Estimator Nonparametric Method) استفاده گردید. این روش ابتدا توسط تیل [۳۱] ارائه و سپس توسط سن [۳۲] بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یکی روند خطی باشد. این بدین معناست که  $f(t)$  در معادله (۲) برابر است با:

$f(t) = Qt + B$  که  $Q$ ، شیب خط روند و  $B$ ، مقدار ثابت است.



شکل شماره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

## یافته‌ها

تاریخ منطقه هراز با سیل عجین شده است. هر ساله با بارش‌های شدید و افزایش حجم رواناب‌ها و طغیان‌های ناگهانی رودخانه هراز، موجب خسارت فراوان و تخریب مناطق حریم رودخانه می‌شود. به گزارش خبرگزاری فارس، بزرگترین سیلاب ۳۵ سال اخیر، در شهرستان آمل در سال در فروردین ماه ۱۳۹۴ رخ داده است. به گزارش همین منبع خبری از آمل، سیل رخ داده در ۳۵ سال اخیر تاکنون سابقه نداشته است. بیشترین حجم دبی آب در رودخانه هراز به ۱۳۱ مترمکعب رسیده بود، اما سیل اخیر بیش از ۲۰۰ متر مکعب حجم داشت. این سیل مناطق لاریجان، جمشید آباد و خیلی از مناطق حوضه نفوذ و حریم رودخانه هراز را تحت تأثیر خود قرار داده است. در واقع، این منطقه از کشور هر ساله با سیل‌های مهیب مواجه می‌باشد. [۳۳]

براساس اطلاعات آماری بیشترین میانگین بارش با ۵۴/۹۹ میلی متر در منطقه هراز در ماه مارس رخ می‌دهد. کمترین مقدار بارش به میزان ۱۶/۴۶ میلی‌متری در ژوئیه رخ می‌دهد. این در حالی است که بیشترین ضریب تغییرات بارش نیز با ۱۰۲/۶۶ در ماه ژوئیه اتفاق افتاده است. جدول شماره ۱ مشخصات آماره‌های پراکندگی بارش را طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

بر اساس شاخص ID ماه‌های ژوئیه و اکتبر بالاترین مقادیر عددی را نشان داده‌اند. این شاخص به خوبی ناهنجاری مکانی بارش منطقه مورد مطالعه را نشان داده است، به طوری که در ماه‌های نامبرده مناطق شمالی منطقه، به نمایندگی ایستگاه کره سنگ در مقایسه با مناطق جنوبی منطقه به نمایندگی ایستگاه پلور تنها در یک فاصله کمتر از ۶۰ کیلومتری یک اختلاف ۱۰ میلی‌متری دارند. همانگونه که در جدول نیز نشان داده شده است شاخص ICS برای هر ۱۲ ماه مورد مطالعه



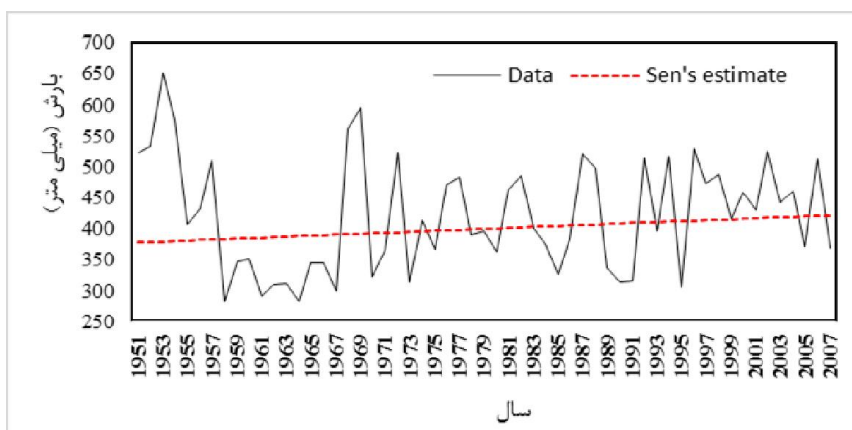
مثبت و بالای ۴ بوده است که تبیین کننده الگوی خوشه‌ای بالای بارش در سطح منطقه است. شاخص‌های GI تعیین کننده همین امر می‌باشد. شاخص ICF نیز اندازه خوشه را نشان می‌دهد. براساس این شاخص در فصل زمستان بزرگ‌ترین خوشه‌های بارشی در منطقه هراز ایجاد می‌شوند که نشان‌دهنده نظم نسبی بارش در منطقه مورد مطالعه است. شاخص‌های IP و GI نشان‌دهنده تفاوت مکانی خوشه‌های بارشی می‌باشند که فصول تابستان و پاییز بالاترین مقادیر تفاوت مکانی خوشه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. شاخص MI نیز مقدار تعدیل شده شاخص IP می‌باشد که مبین تفاوت ساختار مکانی بارش می‌باشد.

جدول شماره ۱- مشخصات آماره‌های پراکندگی بارش منطقه هراز

شاخص‌های پراکندگی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن
ID	۵/۴۹	۹/۴۹	۱۱/۳۰	۱۳/۴۷	۹/۱۶	۷/۷۶
ICS	۴/۴۹	۸/۴۹	۱۰/۳۰	۱۲/۴۷	۸/۱۶	۶/۷۶
GI	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۲
ICF	۸/۸۸	۵/۵۱	۵/۳۳	۳/۶۶	۴/۵۱	۲/۵۱
IMC	۴۴/۴۲	۵۲/۲۶	۶۵/۲۳۰۸	۵۸/۱۹	۴۵/۰۶	۲۳/۸۰
IP	۱/۱۱۲۵۱	۱/۱۹۴۰۸	۱/۱۸۷۴۱	۱/۲۷۲۷۴	۱/۲۲۱۲۷	۱/۳۹۷۱۲
MI	۱/۱۱۰۵۹	۱/۱۹۰۷۵	۱/۱۸۴۱۹	۱/۲۶۸۰۶	۱/۲۱۷۴۹	۱/۳۹۰۵۵
شاخص‌های پراکندگی	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ID	۱۷/۳۵	۶/۷۳	۵/۴۹	۱۴/۵۵	۹/۶۹	۶/۳۱
ICS	۱۶/۳۵	۵/۷۳	۴/۴۹	۱۳/۵۵	۸/۶۹	۵/۳۱
GI	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۹
ICF	۱/۰۰	۲/۶۲	۵/۱۹	۲/۹۶	۵/۲۶	۷/۸۹
IMC	۳۲/۸۱	۲۰/۷۹	۲۷/۸۰	۵۳/۷۰	۵۴/۴۲	۴۷/۲۷
IP	۱/۹۹۳۲۶	۱/۳۸۰۴۶	۱/۱۹۲۶۳	۱/۳۳۷۵۹	۱/۱۹۰۰۹	۱/۱۲۶۷۴
MI	۱/۹۷۶۸۷	۱/۳۷۴۲۳	۱/۱۸۹۴۰	۱/۳۳۱۸۱	۱/۱۸۶۸۳	۱/۱۲۴۵۷

براساس اجرای روش ناپارامتریک سنس روی سری زمانی بارش ماهیانه مشاهده گردید که یاخته‌هایی که روند کاهشی در آنها مشاهده شده است، همگی در بخشی جنوبی منطقه مورد مطالعه و اطراف قله دماوند واقع شده‌اند. این شرایط می‌تواند نشانه‌هایی از تغییر وضعیت بارشی در این قسمت از ایران باشد. هر چند اثبات وجود روند معنی‌دار در یک‌سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد، اما فرض رخداد آن را می‌تواند تقویت کند. لذا همین تغییرات رخ داده می‌تواند حائز اهمیت

باشد. به‌طور کلی، بارش در منطقه هراز در مقیاس سالیانه بر اساس نتایج آزمون شیب سنس افزایش ۰/۷۶۷ میلی متری در طول سال داشته است که بر این اساس در طول دوره ۵۷ ساله به رغم باور عمومی مبنی بر کاهش بارش در سطح کشور و منطقه، ولی بارش سالانه منطقه هراز افزایش ۴۳/۷۱۹ میلی متری داشته است. بر این اساس می‌توان برای روند تغییرات بارش در سطح منطقه هراز رابطه‌ای به این شکل  $f(57) = 0.767(2007 - 1957) + 378.49 = 422.209$  ارائه داد. شکل شماره (۲) برازش نمودار خط سنس بر سری زمانی داده‌های میانگین یاخته‌ای بارش منطقه هراز را در دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲: وضعیت بارش منطقه و برازش روش سنس بر سری زمانی داده‌های میانگین بارش منطقه هراز




مختلف حاکی از تغییرات جدی در اقلیم همخوانی دارد؛ به‌طوری که براساس گزارش‌های هیأت بین دول تغییرات آب و هوایی [۳۴] از نیمه دوم قرن ۲۰ روند بارش‌های سنگین یا رگباری در نقاط مختلف جهان رو به افزایش است. نتایج سایر مطالعات در سطح جهانی تاییدی بر مدعای حاضر است چرا که بررسی داده‌های بارندگی بیش از ۸ هزار ایستگاه هواشناسی در سطح جهان و در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۹ نشان داده است که در این دوره زمانی گرمای جو زمین به اندازه یک درجه سانتی‌گراد زیاد شده و در نتیجه آن تعداد بارندگی‌های شدید نیز افزایش یافته است [۳۵].

در نگاه اول به نظر می‌رسد نتایج حاضر دور از واقعیت به نظر برسد، چرا که با افزایش دمای متوسط جهانی باور عمومی مبنی بر کاهش مقدار نزولات جوی است، اما نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که مقدار بارش در ۵۷ سال اخیر در منطقه هراز افزایش ۰/۷۶۷ میلی متری در هر سال داشته است. بررسی‌ها نشان داده است که این افزایش بارش بیش‌تر به شکل رگباری بوده و بارش‌های آخر فصل سرد و فصول گرم سال در حال افزایش است، چنین افزایشی نه فقط سودمند نبوده بلکه موجب وقوع رخداد وقایع فرین اقلیمی همچون سیل خواهد بود. روند مشاهده شده در منطقه هراز به خوبی با گزارشات سازمان‌های

کشور افزوده شده است. همانطور که مشاهده شد این افزایش شدت می‌تواند موجب خسارات منطقه‌ای شدیدی را به بار آورد.

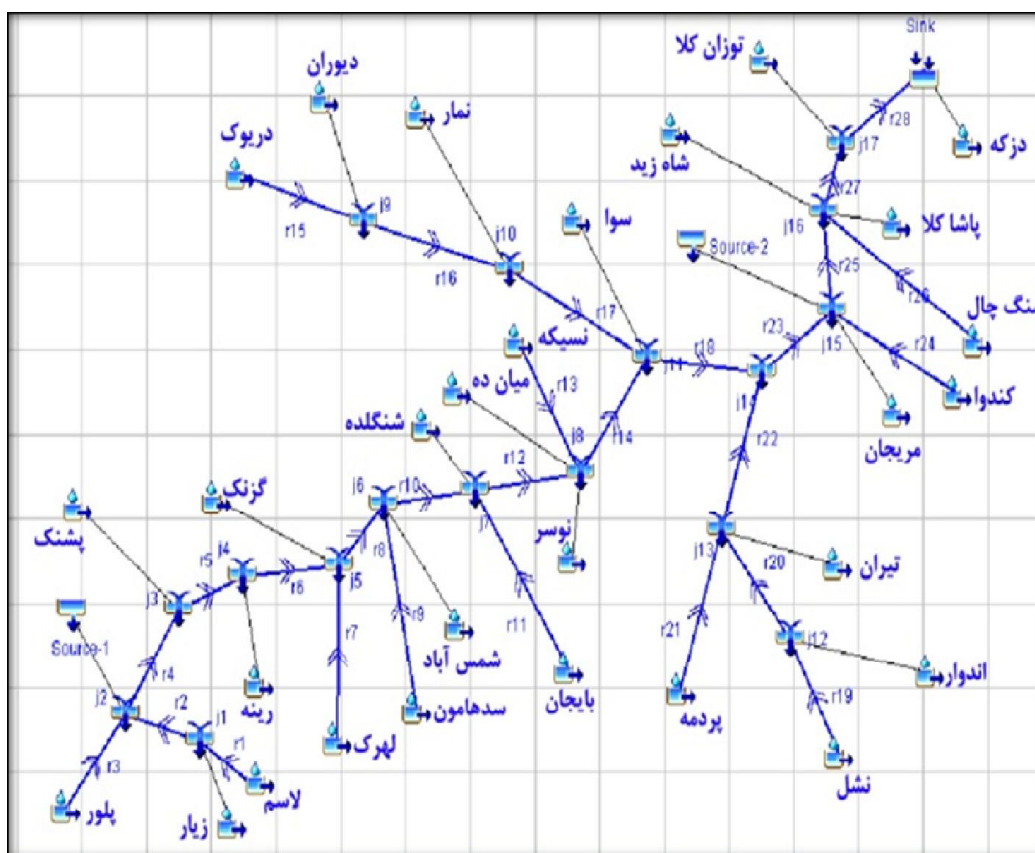
برونداد مدل HEC-HMS

طرح‌واره اجرا شده برای مدل HEC-HMS در شکل شماره ۳ نمایش داده شده است. در این شکل، نمادها م

به ترتیب نمادهای  مؤلفه زیر حوزه،  مؤلفه بیوند،  مؤلفه چشمه می باشد.

سازوکار این امر را نیز می‌توان گونه تشریح کرد که با افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش گرما، مقدار رطوبت بیشتری در جو می‌ماند و بارش‌ها شدیدتر می‌شود. به ازای هر یک درجه گرمایش جو زمین، شدت باران ۷ درصد افزایش می‌یابد و انتظار می‌رود دمای کره زمین در انتهای قرن جاری، ۳ تا ۵ درجه افزایش یابد و تغییرات آب و هوا شدت بارندگی در انتهای قرن را نیز به میزان قابل توجهی افزایش دهد. [۳۵]

بنابراین در ۴۳ سال اخیر ۲/۰۲۱ درجه سانتی‌گراد بر متوسط دمای منطقه افزوده شده است. لذا ضمن پذیرش فرض فوق در ۴۰ سال اخیر ۱۴/۱۴۷ درصد بر شدت بارش‌های این منطقه از



شکل شماره ۳: طرح‌واره اجرا شده برای مدل HEC-HMS

جدول شماره ۲: شدت رگبارهای کوتاه مدت منطقه تداوم و دوره برگشت‌های مختلف (میلی متر بر ساعت)

گام‌های مختلف (ساعت)							دوره برگشت
۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۳	۶	۱۲	
۳۴/۹	۲۲/۳	۱۴/۱	۸/۷	۶/۶	۴/۲	۲/۷	۲
۵۳/۸	۳۴/۴	۲۱/۷	۱۳/۴	۱۰/۱	۶/۴	۴/۱	۵
۶۶/۸	۴۲/۷	۲۷	۱۶/۴	۱۲/۵	۷/۹	۵/۱	۱۰
۸۳/۴	۵۳/۴	۳۳/۷	۲۰/۳	۱۵/۴	۹/۷	۶/۳	۲۵
۹۵/۷	۶۱/۳	۳۸/۷	۲۳/۱	۱۷/۵	۱۱/۱	۷/۲	۵۰
۱۰۸	۶۹/۱	۴۳/۶	۲۵/۹	۱۹/۷	۱۲/۵	۸	۱۰۰

زیرحوضه به طور معمول جریان ورودی نداشته و فقط یک جریان خروجی دارد. این مؤلفه با استفاده از داده‌های هواشناسی، کسر تلفات، انتقال بارندگی‌ها و جریان‌های پایه برای مدل معرفی گردید. پیوند مؤلفه است که دارای یک یا چند جریان ورودی بوده و فقط یک جریان خروجی محاسبه شده دارد. این مؤلفه برای شبیه‌سازی محل اتصال کانال‌ها و مسیل‌ها به رودخانه‌های موجود در منطقه مورد استفاده قرار گرفت. چشمه مؤلفه‌ای است که جریان ورودی نداشته ولی جریان خروجی دارد.

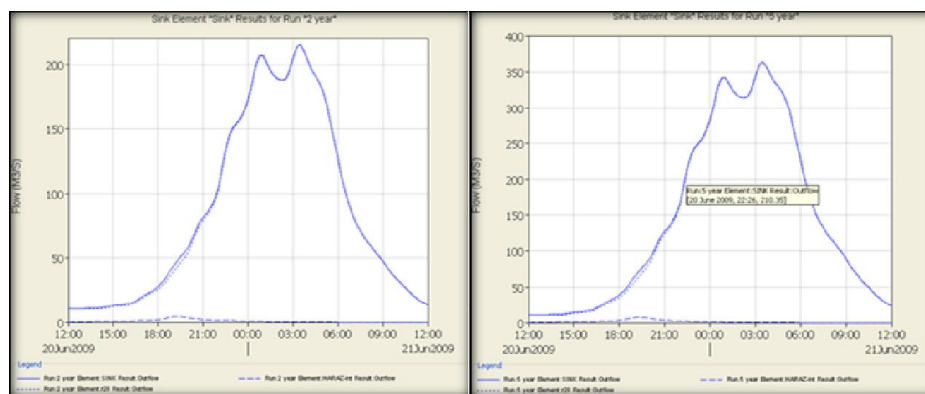
خصوصیات رگبار براساس مقادیر شدت - مدت محاسبه گردید برای محدوده مطالعاتی در دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به مدل معرفی شده است. در جدول شماره ۲ شدت رگبارهای کوتاه مدت و با دوام در دوره‌های برگشت مختلف برای منطقه طی ارائه شده است.

پس از تهیه طرح‌واره مدل و ورود اطلاعات تمام اعضای آن اعم از زیر حوضه‌ها، بازه‌ها، اوج دبی و حجم سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ ساله محاسبه شدند. در جدول (۳) مقادیر سیلاب در دوره برگشت‌های مختلف را برای مناطق مسکونی و ارتباطی مهم در مسیر جاده هراز مشخص شده است.

## جدول شماره ۳: دبی حداکثر سیلاب مناطق مطالعاتی در مدل HEC-HMS

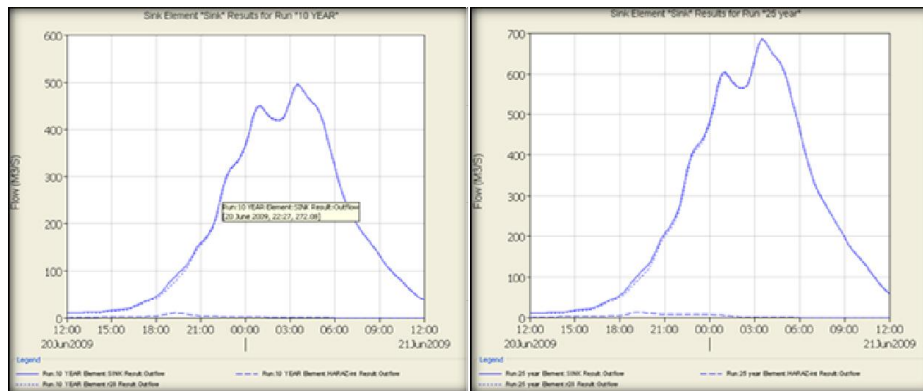
دوره برگشت									مناطق مسکونی و ارتباطی مهم در مسیر جاده هراز
بیست و پنج ساله	پنجاه ساله	صد ساله	دبی پیک	حجم رواناب	دبی پیک	حجم رواناب	دبی پیک	حجم رواناب	
( $M^3/S$ )	( $M^3/S$ )	( $M^3/S$ )	( $M^3/S$ )	(mm)	( $M^3/S$ )	(mm)	( $M^3/S$ )	(mm)	
۳۳/۱	۶/۹۲	۴۹۶/۲	۴۹/۷	۹/۶۱	۶۸۹/۸	۶۷/۲	۱۲/۳۱	۸۸۳/۴	لاسم
۱۲/۲	۳/۰۵	۲۷۹/۲	۱۹/۲	۴/۵	۴۱۱/۴	۲۹	۶/۰۷	۵۵۵/۵	بلور
۱۰۶/۹	۱۷/۷۹	۱۳۷۳	۱۳۰/۱	۲۱/۳۴	۱۶۴۷/۱	۱۵۴/۸	۲۴/۷۲	۱۹۰۷/۷	رینه
۴۰/۲	۷/۲	۶۱۸/۵	۵۵/۷	۹/۴۳	۸۰۹/۹	۷۳/۸	۱۱/۶۹	۱۰۰۴/۱	شاه زید
۱۴۲/۹	۲۵/۳۵	۱۶۶۷/۸	۱۶۷/۹	۲۹/۶۲	۱۹۴۸/۵	۱۹۴	۳۳/۵۸	۲۲۰۹/۳	گزنگ
۲۵/۵	۱۰/۹۴	۲۹۰	۳۴/۲	۱۳/۹۳	۳۶۹/۲	۴۳/۴	۱۶/۸۵	۴۴۶/۷	بایجان
۱۹/۹	۵/۱۱	۳۳۹/۷	۲۹/۹	۷/۰۴	۴۶۸	۴۲/۳	۹/۰۴	۶۰۱/۵	دربوک
۸۰/۳	۲۹/۰۴	۷۲۶/۵	۹۳/۷	۳۳/۶۸	۸۴۲/۷	۱۰۷/۷	۳۷/۹۶	۹۴۹/۷	کندوا
۱۲/۳	۳/۲۲	۲۵۵/۶	۱۵/۹	۴/۵۴	۳۵۹/۷	۲۲/۲	۵/۹۹	۴۷۴/۷	دزکه
۸/۵	۴/۲۹	۱۶۱/۱	۱۳/۴	۶/۱	۲۲۸/۸	۱۹/۷	۷/۹۹	۳۰۰/۱	پاشاکلا

همچنین شکل‌های شماره (۴) الی (۹) آنمود سیلاب در دوره برگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله در مناطق نامبرده در جدول ۳ نشان می‌دهند. از آنجایی که گام ابتدایی مدل ۲ ساله در نظر گرفته شده است و با توجه داده‌های ورودی که تا سال ۱۳۹۰ بوده است، بر این اساس سال پایه ۱۳۹۲ می‌باشد. مقدار حداکثر اوج دبی مناطق نامبرده برای دوره برگشت ۲ ساله (۱۳۹۴ هجری شمسی) می‌باشد.



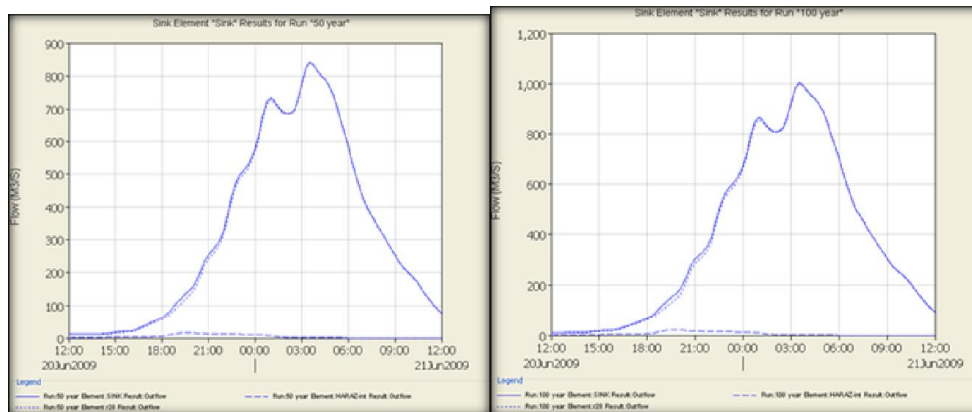
شکل شماره ۵: دوره برگشت ۵ ساله سیلاب

شکل شماره ۴: دوره برگشت ۲ ساله سیلاب



شکل شماره ۷: دوره برگشت ۲۵ ساله سیلاب

شکل شماره ۶: دوره برگشت ۱۰ ساله سیلاب



شکل شماره ۹: دوره برگشت ۱۰۰ ساله

شکل شماره ۸: دوره برگشت ۵۰ ساله سیلاب

علت این امر ذوب آب حاصل از برف و جاری شدن رواناب در شیب‌های تند و با CN پایین است. بر این اساس حجم رواناب در خروجی منطقه هراز در دوره برگشت دوساله ۷۴۷۴/۷ (هزار مترمکعب) برآورد گردید. در مقیاس ۵ ساله اوج دبی در خروجی به ۳۶۴/۲ مترمکعب خواهد رسید و حجم رواناب نیز ۱۲۴۶۷/۴ (هزار مترمکعب) اندازه‌گیری شده است. در مقیاس ۱۰ ساله دبی منطقه در پایین‌دست و یا همان خروجی ۴۹۷/۲ مترمکعب و حجم رواناب حاصله نیز ۱۶۷۸۸ (هزار مترمکعب) خواهد شد. در این مقیاس مطالعاتی دبی اوج مقدار ۶۸۵/۶ و حجم رواناب به ۲۲۹۵۶/۱ (هزار مترمکعب) خواهد

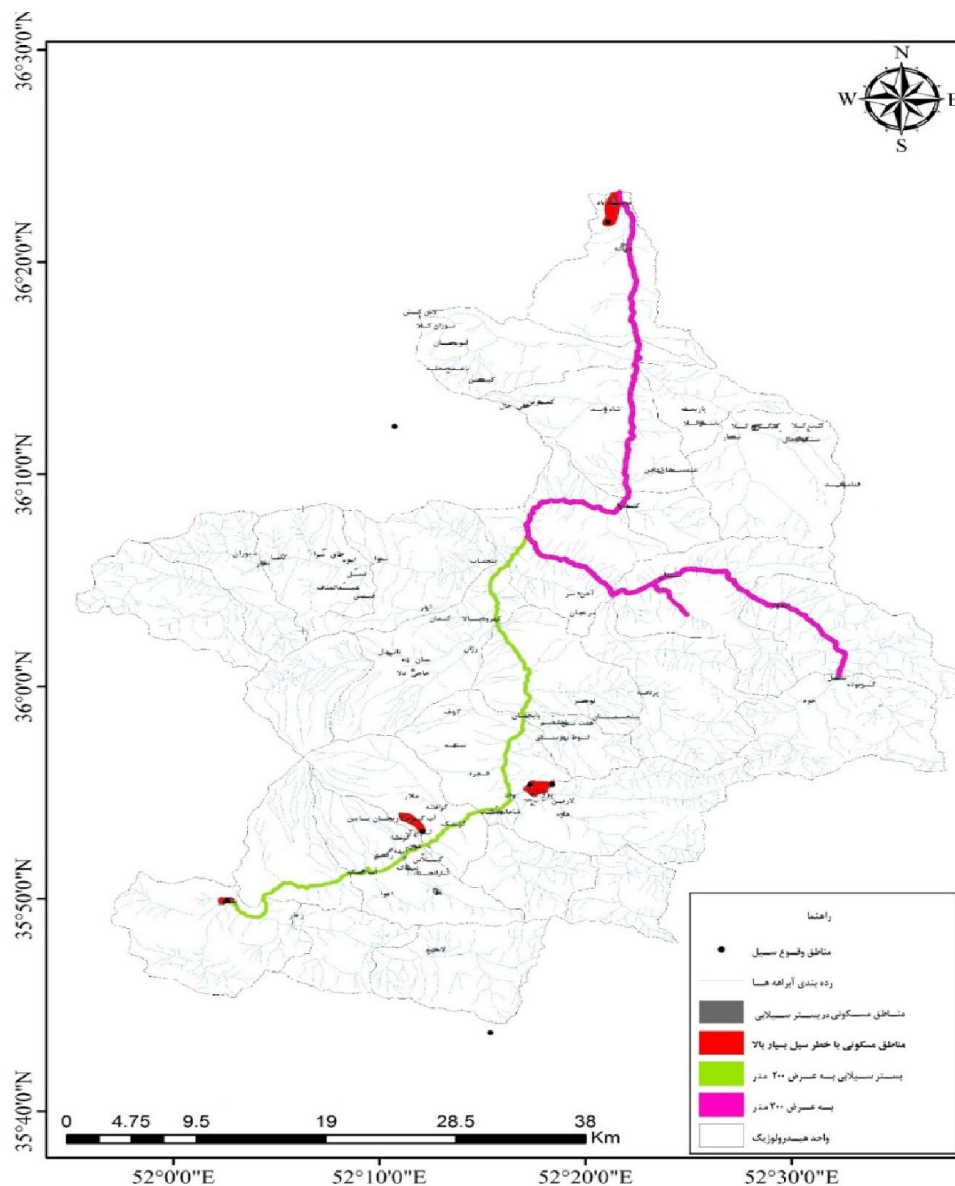
بررسی نتایج وقایع بارش- رواناب طی دوره مطالعاتی (۱۳۵۴ تا ۱۳۹۰ شمسی) با استفاده از مدل ریاضیاتی HEC-HMS با بررسی معیارها، دبی پیک، رواناب و حجم رواناب ضمن لحاظ پارامترهای شماره منحنی CN و جذب اولیه در واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بدین شرح ارائه می‌گردد: در دوره برگشت دوساله بیشترین دبی اوج با مقدار ۲۱۵/۲ مترمکعب بر ثانیه در خروجی حوضه اتفاق می‌افتد. این درحالیست که بیشترین رواناب حاصل از ریزش‌های جوی در منطقه پشنک (جنوب منطقه هراز و جنوب شرق قله دماوند) اتفاق می‌افتد

رسید. در دوره برگشت ۵۰ ساله دبی اوج به  $843/2$  مترمکعب بر ثانیه و حجم رواناب حاصله نیز  $28164/7$  (هزار مترمکعب) خواهد رسید. در این دوره برگشت دبی اوج به مقدار محتمل ترین مقدار حداکثری ( $1005/5$  مترمکعب بر ثانیه) خود خواهد رسید و حجم رواناب حاصله به نیز  $33303/3$  (هزار مترمکعب) خواهد گردید.

مقایسه کمی دبی های اوج موجود در جدول ۳ با حجم سیلاب برآورد شده و شکل کلی هیدروگراف های سیلاب ارائه شده از مدل HEC-HMS با نتایج حاصل از سایر پژوهش های انجام شده (۳۶) در سطح یک منطقه آبخیز، نبود اختلاف معنی دار در مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب را نشان می دهد که با توجه به مقایسه انجام شده، کارایی مدل HEC-HMS در هراز مورد تأیید است. نتایج نیز نشان می دهد که با افزایش دوره برگشت، نقش اقدامات مهار سیلاب در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب و متعاقب آن پهنه و عمق سیلاب کاهش می یابد که با مطالعات فرازجو (۱۳۸۲) و سینگ (۱۹۹۲)، (۳۶ و ۳۷) در مورد کاهش تأثیر پوشش گیاهی به ازای افزایش دوره برگشت سیلاب مطابقت دارد. پارامترهای مؤثر بر بیشینه و کمینه سیل خیزی، دبی اوج و سطح سیل گیری می باشند که دلیل این امر می توان اقدامات نابجای انسانی در سطح حوضه (تعویض جاده هراز در سال های اخیر در پهنه رود صورت گرفت) و همچنین تلفیق اثر وضعیت توپوگرافی

منطقه و ویژگی های هیدرولیکی جریان در مهار پهنه ای سیل می توان جستجو کرد.

یافته های پژوهش حاضر مرتبط با کارایی برتر مدل HEC-HMS در واسنجی سیلاب با دوره های بازگشت مختلف و احتمال وقوع زیاد با نتایج جلمفت (۱۹۹۹) و رادون (۱۹۹۹) همسو است. (۳۸ و ۳۹) با بررسی مناطق سیل گیر منطقه هراز بر اساس مدل ریاضیاتی HEC-HMS، مناطق مستعد سیل مشخص و نتیجه آن در شکل ۱۰ ارائه شد. بر اساس نتایج ارائه شده از بازه های منطقه مورد مطالعه پهنه های سیلابی بزرگ رودخانه هراز حدود ۳۰۰ متر و بستر کوچک رودخانه ۲۰-۳۵ متر می باشد. پهنه سیلابی فعال رودخانه حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است که بخش هایی از این پهنه می توانند به صورت متناوب غرقاب شوند. بر پایه نتایج، در دوره های بازگشت میان مدت و طولانی مدت مناطق تیران و اندوار مستعدترین مناطق به جهت سیل خیزی هستند. این مناطق نیازمند مطالعات آبخیزداری جامع و سامانه های مهار سیلاب می باشند. مطابق با شکل ۱۰ مناطق مسکونی پلور، لاریجان، آخا و ترا و محمدآباد در دوره های کوتاه مدت تا میان مدت مستعدترین مناطق برای حدوث سیلاب می باشند. سایر مناطق شکل شماره ۱۰ که با عنوان مناطق مسکونی در بستر سیلابی و رنگ خاکستری، استعداد سیل خیزی دارند و به محض رسیدن به اوج دبی و در یک دوره زمانی کوتاه مدت می توانند سیلاب های مخربی را به وجود بیاورند.



شکل شماره ۱۰: مناطق شناسایی شده مستعد سیل خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS

## بحث

منطقه مطالعاتی، محور مواصلاتی هراز، از تهران به مازندران محسوب می‌شود. اهمیت راهبردی و همچنین وجود منابع طبیعی، به‌خصوص چشمه‌ها و رودخانه‌های کوچک و بزرگ، موجب افزایش تمرکز بیشتر سکونتگاه‌های انسانی در سطح منطقه شده است. رواناب‌ها و سیلاب‌های شدید در بخش جنوبی منطقه، به دلیل نبود پوشش گیاهی و

اهمیت منطقه مورد مطالعه از نظر راهبردی و افزایش مخاطرات اقلیمی در سال‌های اخیر، انجام چنین مطالعاتی را ضروری می‌سازد. منطقه هراز، به عنوان یکی از مناطق مرتفع و کوهستانی از دو بخش البرز جنوبی و شمالی با شرایط طبیعی و اقلیمی متفاوتی تشکیل شده است. شناسه بارز این



همچنین شیب زیاد با زمان تمرکز کمتری همراه می‌باشد. تعرض به حریم رودخانه‌ها، تغییر کاربری‌ها و تخریب منابع طبیعی برای اهداف توریستی - اقتصادی از یک طرف و نبود مطالعات پایه جغرافیایی و عمرانی لازم روی مسیرهای منتهی به سکونتگاه‌ها، مهم‌ترین مسائل زمینه ساز و تشدید کننده رواناب‌ها و سیلاب‌ها در منطقه محسوب می‌شوند.

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که همواره مخاطره هیدرو اقلیمی سیلاب، مهم‌ترین مخاطره در این منطقه محسوب می‌شود. بارش در منطقه افزایش یافته و بیشتر این بارش‌ها، به صورت رگباری و در انتهای فصل‌ها به‌خصوص فصول زمستان و تابستان رخ می‌دهد. در دوره برگشت دو ساله بیش‌ترین دبی اوج با مقدار  $215/2$  مترمکعب بر ثانیه در خروجی حوضه اتفاق خواهد افتاد. این در حالی است که بیش‌ترین رواناب حاصل از ریزش‌های جوی در منطقه پشنک (جنوب منطقه هراز و جنوب شرق قله دماوند) اتفاق خواهد افتاد علت این امر ذوب آب حاصل از برف و جاری شدن رواناب در شیب‌های تند و با CN پایین است. بر این اساس حجم رواناب در خروجی منطقه هراز در دوره برگشت دوساله  $7474/7$  (هزار مترمکعب) برآورد گردید. پهنه‌های سیلابی بزرگ رودخانه هراز حدود  $300$  متر و بستر کوچک رودخانه  $20-35$  متر می‌باشد. پهنه سیلابی فعال رودخانه حدود  $100$  تا  $150$  متر است که بخش‌هایی از این پهنه

می‌توانند به صورت متناوب غرقاب شوند. نتایج نشان داد که در دوره‌های بازگشت میان‌مدت و طولانی‌مدت، مناطق تیران و اندوار مستعدترین مناطق به جهت سیل‌خیزی هستند. به طور کل، دوره برگشت دو تا  $5$  ساله مهم‌ترین دوره برگشت سیل‌های مهیب منطقه بوده و همچنین مناطق بخش‌های جنوبی، برای وقوع سیل‌های ناگهانی مستعدتر می‌باشند.

اهمیت و تنوع مخاطرات مختلف در مسیر کوهستانی و پرخطر هراز، موجب تأسیس پایگاه‌های امداد و نجات به فواصل مختلف، به منظور کمک رسانی در زمان مخاطرات احتمالی شده است. تمرکز پایگاه‌های امداد و نجات با تجهیزات مختلف در یک مسیر، نمی‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با بحرانی‌های احتمالی به صورت دائمی باشد. تجربه نشان داده که در زمان وقوع سیل در این منطقه، بیشتر روستاییان و مردمان ساکن در شهرهای کوچک در مناطق مرتفع و صعب‌العبور آسیب می‌بینند. زیرا زیرساخت‌های ضعیف از قبیل جاده، پل و غیره از یک طرف و همچنین، بار ترافیکی شدید در مسیر جاده اصلی، مانع و موجب تاخیر در کمک رسانی به موقع می‌گردد. بنابراین، انجام برنامه‌های مختلف با رویکرد پیشگیرانه و قبل از وقوع بحران مؤثرترین راهکار برای کاهش خسارات احتمالی سیل محسوب می‌شود. در این خصوص، شناسایی مناطق سیل خیز براساس مطالعات هیدرو - اقلیمی، نقش مؤثری ایفا می‌نماید. با شناسایی این

مناطق عمده، می‌توان با تأسیس و تجهیز پایگاه‌های امدادی و کمک‌رسانی در منطقه و همچنین کمک به توسعه سکونتگاه‌ها از طریق نهادهای ذیربط، میزان وقوع خسارات در این مناطق را به حداقل رساند.

عواقب ناشی از مدیریت غلط محیط رودخانه و کاربری نادرست اراضی که خود نتیجه توسعه مناطق شهری و روستایی است در بسیاری از مواقع موجب بروز سیلاب و تشدید آن می‌گردد. شدت و حجم خسارات و روند فزاینده سیلاب‌های ناگهانی و تأثیرات سوء اقتصادی، اجتماعی زیست‌محیطی آن به عنوان یک پدیده همچون سایر پدیده‌های طبیعی به مدد علم برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح قابل پیش‌بینی و کنترل می‌باشند و می‌توان خسارات ناشی از آن را به حداقل رسانید. لذا ادامه روند سیلاب ایجاب می‌کند تدابیر مؤثری به خصوص برای پیشگیری از این وقایع به عمل آید. با در نظر گرفتن نقش برتر هریک از عوامل مؤثر در بروز سیلاب و یا تشدید آنکه شرح مفصل آن در این پژوهش آمده است، پیشنهادهایی بدین شرح به منظور حفظ سرمایه‌های ملی و ملحوظ نمودن توسعه پایدار منطقه‌ای ارائه می‌گردد:

۱- توسعه و راه‌اندازی سامانه‌های هشداردهنده و ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری آمار و اطلاعات، برای آگاهی رسانیدن به مدیران و بهره‌برداران از بروز این بلایا و تأسیس ایستگاه‌های هواشناسی ماهواره‌ای در مراکز استان‌ها از ضروریات اولیه

به حساب می‌آید. ۲- تعدیل اثرات سوء سیلاب بدون برخورد علمی و تخصصی و انجام مداوم تحقیقات، به خصوص تحقیقات کاربردی به نتایج ثمربخشی نخواهد رسید. بررسی و استفاده از یافته‌های تحقیقاتی انجام‌شده می‌تواند در تدوین برنامه جامع ملی مؤثر واقع شود. لذا پیشنهاد می‌گردد تا مطالعاتی مشابه آنچه در پژوهش حاضر بحث و با دوره‌های زمانی کوتاه‌تر بررسی شود. ۳- استفاده ترکیبی دانش جغرافیا، اقلیم‌شناسی و GIS، می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌سازی‌های بلند مدت نقش سازنده‌ای ایفا نماید؛ و ۴- پیشنهاد می‌شود تا نقش مشارکت مردمی در میان فعالیت‌های مربوط به کاهش اثرات ناشی از سیلاب محوری شود و جایگاه قانونی سازمان‌های غیردولتی در این ارتباط پس از تعریف منسجم و مشخص، نهادینه شود. چرا که مردم یک جامعه در هر حال جهت‌گیری خاصی نسبت به اقدامات راهبردی - بنیادی دارند.

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل ریاضیاتی HEC-HMS4 و GIS به ارزیابی سیل خیزی منطقه هراز پرداخته شد. ارزیابی وضعیت بارش منطقه بر مبنای آمار طولانی مدت نشان می‌دهد که بارش در مقیاس سالانه تا ۰/۷۶۷ میلی متری در طول سال افزایش می‌یابد. که در واقع در طول دوره ۵۷ ساله بارش، سالانه حوضه هراز افزایش ۴۳/۷۱۹ میلی متری داشته است. روند افزایش در بارش منطقه و همچنین تغییر زمان بارش‌ها به

انتهای فصول به‌خصوص، فصول زمستان و تابستان، وجود بی‌نظمی در سامانه آب و هوای منطقه ناشی از تغییرات اقلیم جهانی و گرم شدن کره زمین را نشان می‌دهد. بر مبنای نتایج مدل، در دوره‌های بازگشت میان مدت و طولانی مدت، مناطق تیران و اندوار مستعدترین مناطق سیل خیز در منطقه هراز محسوب می‌شوند. در واقع، مناطق بخش جنوبی منطقه هراز، به دلیل نبود پوشش گیاهی و برفگیر بودن منطقه، بیشتر از دیگر مناطق مستعد رواناب‌ها و سیلاب‌های مهیب می‌باشد. وجود چنین شرایطی، این مناطق را نیازمند مطالعات آبخیزداری جامع و سامانه‌های مهار سیلاب و همچنین تأسیس و تجهیز ایستگاه‌های امدادی برای زمان حادثه می‌نماید. نتایج به‌دست‌آمده نیز نشان می‌دهد که با افزایش دوره برگشت، نقش اقدامات مهار سیلاب در حوضه آبخیز هراز در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب و متعاقب آن پهنه و عمق سیلاب کاهش می‌یابد. حجم سیلاب برآورد شده و شکل کلی هیدرو گراف‌های سیلاب ارائه‌شده از مدل HEC-HMS با نتایج به‌دست‌آمده از سایر مطالعات در سطح حوضه آبخیز و نبود اختلاف معنی‌دار در مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب را نشان می‌دهد که با توجه به مقایسه انجام‌شده، کارایی مدل مذکور در منطقه هراز مورد تأیید قرار گرفته است. تلفیق

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های هیدرولوژیک می‌توان اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را بر پتانسیل سیل‌خیزی مناطق مختلف بررسی کرد و با در نظر گرفتن همزمانی اوج دبی مناطق و زیربخش‌های آنها و نقش روندیابی سیل در آبراهه، اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مناطق و زیربخش‌ها را به نحو مناسب‌تری مشخص کرد.

تصمیم‌سازی‌ها و تعیین برنامه‌های بلند مدت بدون اطلاع از شرایط جغرافیایی - اقلیمی هر منطقه میسر نخواهد بود. با توجه به تهدید تغییر اقلیم جهانی و افزایش فراوانی رخداد‌های فرین اقلیمی در آینده، انجام مطالعات پایه و به‌کارگیری برون‌داد این مطالعات، در مطالعات قبل از وقوع بحران حائز اهمیت فراوان می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر برای آگاهی بخشی و کمک به تصمیم‌سازی به سازمان‌های مدیریت بحران، جمعیت هلال‌احمر و سازمان امداد و نجات حائز اهمیت است.

### سپاسگزاری

در پایان از مسئولان محترم سازمان جنگل‌ها و مراتع و سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران به خاطر در اختیار قراردادن داده‌های مورد نیاز پژوهش نهایت تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

## References

- Joffe, H. Rossetto, T. and Adams, J. *Cities at risk, living with perils in the 21<sup>st</sup> century*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2013.
- Kömüscü, A. Ü & Çelik, S. *Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7-10 September 2009: an assessment from hydro meteorological perspective*. Natural hazards, 2013; 66(2): 781-808.
- Qasim, S., Khan, A. N., Shrestha, R. P., & Qasim, M. *Risk perception of the people in the flood prone Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2015 ; ( 14): 373-378.
- Rahimi, D. *Salitaire shower effects on flood critical management (Case study: Farsan basin*. Journal of Geography and Environmental Planning, 2010; (3):85-100. [In Persian].
- Hosseini, M. *Crisis management*. Shahr Publication Institute. Tehran. Iran, 2009. [In Persian].
- Jonkman, S. N. Global perspectives on loss of human life caused by floods. Natural hazards, 2005; 34(2): 151-175.
- Tehrani, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. *Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS*. Journal of Hydrology, 2013; 504: 69-79.
- Opolot, E. *Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: a review*. Research journal of applied sciences engineering and technology, 2013; 6(10): 1884-1894.
- Knebl, M. R., Yang, Z. L., Hutchison, K., & Maidment, D. R. *Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event*. Journal of Environmental Management, 2005; 75(4): 325-336.
- McColl, Ch. and G. Aggett *Landuse forecasting and hydrologic model integration for improved land use decision support*. Journal of Environmental Management, 2006; 494-512.
- Yener, M. K., Sorman, A.U., & Gezgın, T. *Modeling studies with HEC-HMS and runoff scenarios in Yuvacik Basin, Turkey*. Int. Cong. River Basin Manage, 2007; 4: 621-634.
- Chu, X., & Steinman, A. *Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009; 135(1): 119-124.
- Oloche oleyiblo, J. Li, Z. J. *Application of HEC – HMS for floods forecasting in Misai and Wan an catchments in China*. Water Science and Engineering, 2010; 3(1): 14-22.
- Halwatura, D. Najim, M. *Application of the HEC – HMS model for runoff in a tropical catchment*. Environmental Modeling & Software 2010; 46: 155-162.
- Akter, A. Ahmad, Sh. *Potentiality of rain water harvesting for an urban community in Bangladesh*, Journal of Hydrology, 2015; 528:84- 93.
- Sardoii, E. R., Rostami, N., Sigaroudi, S. K., & Taheri, S. *Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (case study: Amirkabir dam watershed, Iran)*. Advances in Environmental Biology, 2012; 6(1): 343-348.
- Azary, M, Sadeghei, S.R. Talory, A. *The combination of HEC-HMS and HEC-RAS models in the GIS, For Flood simulation*. The first national conference of stream engineering in the Mashhad city, Iran, 2006. [In Persian]
- Abbasi, M. Mohseni saroei, M. Kheirkhah, M.M. Khalighy Sigarody, Sh. *The assessment of watershed actions effects, on the catchment flooding reduction with mathematical model, HEC –HMS, (case study: Kan Watershed)*. The Sixth national conference of Watershed engineering and science, Faculty of Marine Science and Natural Resources, University of Tarbiat Moddares. Iran, 2011. [In Persian]
- Smith, K., Ward, R., *Floods: Physical Processes and Human Impacts*, 1998.
- Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., & Schmidtke, R. *Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to*

- buildings. Natural Hazards and Earth System Science*, 2004; 4(1): 153-163.
21. Bronstert, A. *Floods and climate change: interactions and impacts*. 2003, Risk Anal.
22. Christensen, J. H., & Christensen, O. B. *Climate modeling: severe summertime flooding in Europe*. *Nature*, 2003; 421(6925): 805-806.
23. Konadu, D.D., Fosu, C. (Eds.), *Digital Elevation Models and GIS for Watershed Modeling and Flood Prediction- A Case Study of Accra Ghana*, Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World. 2009, Springer, pp. 325-332.
24. Hostache, R., Chini, M., Matgen, P., & Giustarini, L. *A new automatic SAR-based flood mapping application hosted on the European Space Agency's grid processing on demand fast access to imagery environment*. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 2013; (15): 13927.
25. Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A., & Moradi, A. *An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia*. *Environmental Earth Sciences*, 2012; 67(1): 251-264.
26. Baaghideh, M and Ahmadi, H. *The analysis of dust storm hazard occurrence and its variation trend in west & southwest of Iran*. *Quarterly Scientific of Rescue and Relief*, 2014; 6, (2): 57-43. [In Persian]
27. Naser, B. Motazeri, M and Gandomkar, A. *Study of hydroclimatic factors on Golestan province natural hazards with emphasize to flood*. *Quarterly Scientific journal of Rescue & Relief*. 2013; (5) 2. [In Persian]
28. HEC. *Hydrologic Engineering System. Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2008.
29. Meenu, R., Rehana, S., & Mujumdar, P. P. *Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM*. *Hydrological Processes*, 2013; 27(11): 1572-1589.
30. Ghodsian M. *Drainage engineering and Flood stay (translation)*. Publication of Tarbiat Moddares University.
31. Thiel, H., *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis: part3*. *Proceeding of Koninalijke Nederland's Academies van Weinenschatpen A*, 1950; 53: 1397-1412
32. Sen, P. K. *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau*. *Journal of the American Statistical Association*, 1968; 63: 1379-1389.
33. Fars Agency News. 1394. <http://www.farsnews.com/printable.Phpnn=13940131000870>. [In Persian]
34. IPCC, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013, Cambridge University Press, Cambridge.
35. Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W. *Global increasing trends in annual maximum daily precipitation*. *Journal of Climate*, 2013; 26(11): 3904-3918.
36. Mirzakhani, H. *The comparison of the flood-precipitation by using simulation, based on the HEC-HMS model in the Jagharagh catchment (Khorasan Province)*. M, S. Watershed Dissertation, University of the Natural Resources and Agriculture sciences, Gorgan. Iran, 2002. [In Persian]
37. Farazgo, H. *The assessment of vegetation changes effects in the flood hydrograph Golestan dam watershed by using of GIS and HEC- HMS*. M, S. Dissertation, University of the Natural Resources and Agriculture sciences, Gorgan. Iran, 2003. [In Persian]
38. Singh, V.P., *Elementary Hydrology*, Prentice-Hall, 1992; 973.
39. Hjelmfelt, A., *Modeling hydrologic and water quality responses to grass waterways*, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1999; 4(3):251-256

## Rainfall-runoff model for flood risk management (case study: Haraz district)

**Hamzeh Ahmadi**, PhD Student, Department of Natural Geography, School of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

**Corresponding author: Abbasali Dadashi Roudbari**, Student, Department of Earth Sciences, School of Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran **Email:** Dadashiabbasali@gmail.com

**Received:** September 15, 2015

**Accepted:** November 16, 2015

### Abstract

**Background:** Today, due to climate changes, climate risks are the most important challenges and threats to mankind, among which flood is one of the most common hazards. In Iran, due to its geographical location and climatic conditions, this hazard causes loss of lives and enormous financial damages to agricultural land, infrastructure, and settlements of the country every year. Haraz region, as one of the most populous areas in the north of Iran, within the two provinces of Mazandaran and Tehran, with one of the major transportation arteries, is faced with a flood incident each year. Therefore, this study was conducted with the aim to develop a rainfall-runoff model for flood risk management in the main road in Haraz.

**Method:** The research method was statistical documentary. Due to the purpose and content of the study, the research was based on climatic data, geographic information, and satellite imagery of Haraz region. The numerical model of the Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) was used for flood modeling. With this model, the hydrograph of each rainfall incident could be produced. The topographical features and hydro-geomorphological of the study area, as quantitative data and in the form of a raster, were defined as topographic profiles. Then, 29 sub-regions were identified. With the completion of the required information, the med-term and long-term return period, and flood hydrograph, the flood plan for the area was determined. Antisense method was used to evaluate the status of regional changes in precipitation.

**Findings:** Increasing trend in precipitation of the area, changes in precipitation time until the end of the season, especially in winter and summer, irregularities in the regional climate system, and the effect of global climate changes and global warming were observed. Based on the model results, in the mid-term and long-term return periods, Tiran and Andvar areas (Iran) were the most susceptible to flooding in Haraz region. The large flood area in the Haraz River was about 300 meters and the small river beds were 20-35 meters. The river flood active zone was about 100 to 150 meters and parts of this area can be flooded periodically. Areas in the southern part of the Haraz region, due to their lack of vegetation and a covering of snow, were more prone to massive runoff and floods than other areas. Due to the existence of such circumstances, comprehensive watershed studies and flood control systems, and establishment and equipping of pre-hospital care stations for times of crisis are necessary.

**Conclusion:** By integrating a geographic information system (GIS) and hydrological models, the interaction effects of physiographic factors and the climate can be studied on the flooding potential of the watersheds. The prioritization of flood potential high risk areas could be performed better through considering the possibility of peak flow, important residential and communication areas, and the role of flood routing in waterways. Considering that the infrastructure of crisis management is prevention, analysis of flood prone areas could be effective in the flood prevention plan. Results of this study were important in the implementation of the flood risk management plans before the crisis.

**Keywords:** Flood modeling; Rainfall-runoff models; Risk management; Iran